

# Structure and Architectonic Space

## Konstrukce a architektonický prostor

Daniel Kuda, xakuda@stud.fa.vutbr.cz

Ústav stavitelství, Fakulta architektury, Vysoké učení technické v Brně

školitel: doc. Ing. Monika Petříčková, Ph.D.

**ABSTRACT:** The architectural work is the synthesis of three fundamental determinants: space, form, and matter that interact with one another. The current modern architecture is based on the design of space, where the design is based on different rules than the structural ones. In the space-matter-form relationship, the resulting space should be greatly influenced by the choice of material (matter) and consequently of the structural system (form). For the analysis of internal architectural space, I chose buildings that were structurally new at the time of their creation. These buildings use only one main material to create space, from which the construction system comes out. The results of the analysis show the importance of the spatial aspect of the structural system and indicate the natural design of each material.

**KEYWORDS:** Structure; architectonic space; material; matter; form

**ABSTRAKT:** Architektonické dílo je syntézou tří základních determinantů, které se navzájem ovlivňují: prostoru, formy a hmoty. Současná moderní architektura je založena na návrhu prostoru, kdy tento návrh vychází z jiných zákonitostí, než jsou zákonitosti strukturální. Při platnosti vztahu prostor – hmota – forma by měl být výsledný prostor značně ovlivněn výběrem materiálu (hmoty) a následně konstrukčního systému (formy). Pro analýzu vnitřního architektonického prostoru jsem vybral stavby, které byly v době svého vzniku konstrukčně přelomové. Tyto stavby užívají k vytvoření prostoru jen jeden hlavní materiál, ze kterého vychází konstrukční systém. Výsledky analýz prokazují význam prostorového aspektu konstrukčního systému a naznačují přirozené konstrukční uspořádání každého materiálu.

**KLÍČOVÁ SLOVA:** Konstrukce; architektonický prostor; materiál; hmota; forma

## Úvod

Každé architektonické dílo je založeno na třech základních determinantech. Jsou to hmota, forma a prostor. Jsou zastoupeny v každém návrhu, ovšem vždy jej ovlivňují v různém poměru.

Hmota představuje materiál, který je pro stavbu použit: dřevo, ocel, sklo atd. Materiály jsou definovány fyzikálními veličinami, jako jsou hustota, barva, pružnost a pevnost apod. Forma je tvar, který nabývá materiál, část struktury nebo i celá stavba. Je definována rozměry. Za architektonický prostor můžeme považovat objem ohraničený stavebními konstrukcemi. (Bruno Zevi)

Hmota s formou vytvářejí dohromady konstrukční systém. Mají silné zastoupení v inženýrských stavbách, jako jsou mosty, vysílače, tunely... Význam prostoru se dostává do popředí ve chvíli, kdy je stavba navrhována pro živou bytost.

## Aspekty konstrukčního systému

Existuje mnoho aspektů toho, jak konstrukční systém ovlivňuje návrh, například ekonomicky, ekologicky nebo esteticky. Tato práce bude věnována prostorovému aspektu. Hypotéza této práce předpokládá změnu charakteru prostoru při změně užitého materiálu, protože z teorie trojjediného celku vyplývá, že změnou hmoty dojde k ovlivnění formy a následně prostoru.

Současná moderní architektura je založena na návrhu architektonického prostoru, který vychází z jiných zákonitostí, než jsou zákonitosti strukturální. Mohou to být například zákonitosti estetické nebo filozofické. Při prokázání platnosti vztahu prostor – hmota – forma by měl být výsledný prostor značně ovlivněn výběrem materiálu a následně konstrukčního systému.

V době prvních použití železa ve stavitelství kopírovaly finální návrhy formu konstrukčního systému obdobných staveb z kamene. Charakter konceptu prostoru tedy měl být při návrhu zachován, ale v důsledku změny materiálu a následně nutných změn formy došlo i ke změně prostoru. Tyto změny lze pozorovat například u mostu Coalbrookdale Bridge nebo u kostela St. Michael's Church v Aigburth. Nahrazením hmotných struktur tyčovými litinovými konstrukcemi došlo v obou případech ke zprůchodnění a otevření prostoru. V případě kostela došlo ke vzniku atypického, vzdušného interiéru, který v té době mohl být v rozporu s dobovým chápáním sakrálního prostoru.

V současné době se velmi rychle do popředí dostávají nové a progresivní materiály a konstrukční systémy. Jako příklady lze zmínit ultra-high performance concrete (UHPC), uhlíková lana a uhlíkové tkaniny nebo technologii 3D tisku. Tyto materiály a konstrukční systémy se dostávají do praxe rychleji, než je stačí následovat vývoj architektonického prostoru.

Každý materiál má svoji specifickou pravdivou formu. Tato forma byla v historii postupně objevenována. Některé materiály použité v konstrukčním systému mají v závislosti na svých fyzikálních vlastnostech schopnost do určité míry minimalizovat jeden nebo dokonce dva rozměry. Například kámen je vždy trojrozměrný, naproti tomu ocel existuje ve formě plechu nebo prutu. Proto je pro ocel přirozená forma rámových konstrukcí, příhradoviny (plošné i prostorové) a plechového pláště. Kámen vytváří hmotné stěny a valené klenby. S jedním narůstajícím rozměrem (X) budou současně narůstat i ostatní dva rozměry (Y, Z).

Má-li každý materiál svoji specifickou formu, vytváří i svůj specifický prostor. To znamená, že s novými materiály budou vznikat i nové typy architektonických prostorů.

### **Ateliér univerzity Kanagawa Institute of Technology (KAIT)**

Architekt: Junya Ishigami (Junya Ishigami + Associates)

Inženýr: Konishi Structural Engineers

Místo: Kanagawa, Japonsko

Realizace: 2008

Podlažní plocha: 1989 m<sup>2</sup>

Ateliér a dílny s volným přístupem pro studenty, kteří zde mohou pracovat na svých projektech, se nachází v areálu univerzity KAIT (Kanagawa Institute of Technology) a byly vybudovány v rámci obnovy celého kampusu. Jedná se o krytý prostor na půdorysu blízkém čtverci o ploše skoro 2000 m<sup>2</sup>, který není nijak členěn. Architekt Junya Ishigami přirovnává prostor k lesu, jak ho vnímáme při procházce. Open space prostor je nejasně, mnohoznačně dělen do více částí pomocí rozmístění a hustoty sloupů (Silver, McLean, Evans, Structural Engineering for Architects: A Handbook, 2013). Světlá výška dosahuje pěti metrů. Osvětlení je dosaženo pomocí transparentního pláště a světlíků ve střešním plášti.

Ze strukturálního hlediska se jedná o ocelovou rámovou konstrukci. Stropní deska je svařena z I nosníků do pravoúhlé, pravidelné sítě. Zvláštnost budovy spočívá ve využití dvou typů sloupů, které vzdorují vertikálnímu i horizontálnímu zatížení, čímž došlo k eliminaci jakéhokoli ztužení nebo zavětrování budovy.

V návrhu byla snaha o využití co nejtenčích sloupů. První typ, nazývaný „vertical“,

vzdoruje pouze vertikálnímu zatížení budovy. Má plný průřez  $80 \times 56$  mm a je kotven kloubovým spojem k základům i stropní desce. Druhý typ, „horizontal“, má plochý průřez dle typu sloupu, např.  $160 \times 16$  mm. Kotvení zde bylo složitější. Z důvodu štíhlosti sloupu by při zatížení stropní desky (např. sněhem) došlo k vybočení prvků. Prvotní návrh kluzných spojů ve vertikálním směru byl zamítnut z důvodu viditelného detailu, který nekorespondoval s architektonickým záměrem. Proto byla střecha zatížena váhou odpovídající sněhovému zatížení. Následně byly sloupky nekluzně přikotveny a zatížení bylo odstraněno. V důsledku tohoto postupu je prvek předepjatý a nahodilé vertikální zatížení nezpůsobí jeho prohnutí.

Zachycení vodorovných sil je docíleno natočením plochých sloupů do různých směrů. K výpočtu byl vytvořen speciální program, který prokázal statickou bezpečnost konstrukce.

Ishigami dokázal pomocí progresivního konstrukčního systému vytvořit nový typ architektonického prostoru. Tento prostor je pro člověka nepřirozený z hlediska tektoniky. Obsahuje nesené (střecha), ovšem subtilní sloupky, nesoucí prvek, je tedy oproti zvyklostem citelně poddimenzován. Prostor lze charakterizovat jako velmi otevřený a prosvětlený.

Následující dva obrázky porovnávají původní ocelovou variantu a stejný koncept prostoru vytvořený pomocí železobetonu. Pomocí abstrahované kresby s důrazem na konstrukční řešení se snaží znázornit podstatnou změnu architektonického prostoru. Ocelová varianta umožňuje díky subtilnosti sloupů vytvoření volného prostoru tak, jak ho architekt zamýšlel. Užití betonu zvýší rozměry sloupů, a i když se sníží jejich počet, prostor nabere charakter chrámových sloupových lodí.

Prostý beton je z hlediska svého chování velmi speciálním materiálem. V architektuře vzniká jako negativní otisk již vytvořené formy z jiného materiálu. Vlastní přirozenou formu tedy nemá. Schopnost vytvářet monolitické organické struktury s netradičními prostory jej činí velmi vyhledávaným materiálem.

### **Restaurace Los Manantiales**

Architekt: Fernando Álvarez Ordóñez, Joaquín Álvarez Ordóñez

Inženýr: Félix Candela

Místo: Xochimilco, Mexico City, Mexiko

Realizace: 1958

Hyperbolická skořepina, na jejímž tvaru spolupracoval Felix Candela a Colin Faber, je ve skutečnosti tvořena čtyřmi navzájem se protínajícími hyperbolickými paraboloidy. V návrhu není použito žádné obvodové ztužení, pouze do průsečíků jedno-

livých hyperbolických paraboloidů Candela umístil ocelové nosníku průřezu „V“. Skořepina (sice) obsahuje ztužení z betonářské oceli, to je zde však užito pouze jako ochrana proti lokálním prasklinkám. Samotná skořepina je namáhána pouze tlakovými silami, které jsou přeneseny do navzájem sepnutých základových patek.

Protože hyperbolický paraboloid může být vytvořen pouze pomocí přímek, bylo velmi snadné postavit bednění pro navrženou skořepinu. Na bednění byla položena kari síť, jež byla ručně zalita pěti centimetry betonu.

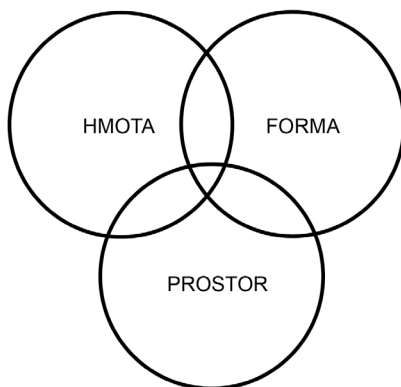
Stejně jako Ishigami, vytvořil Candela pomocí v té době progresivní konstrukce nový typ zaklenutého prostoru, který své cihelné a kamenné předobrazy překonává rozměry vnitřního prostoru a současně subtilností použité formy.

Cihelné zdivo je snad jedním z hlavních vynálezů architektury. Vznik standardizovaného prvku, který je natolik jednoduchý, že může být snadno vyroben ve velkém množství a zároveň umožňuje vytvořit nepřeborné množství tvarů, s sebou přinesl velké změny architektonického prostoru. Mohlo by se zdát, že za tisíce let, po které je cihla ve stavebnictví běžně užívána, se její možnosti už vyčerpaly.

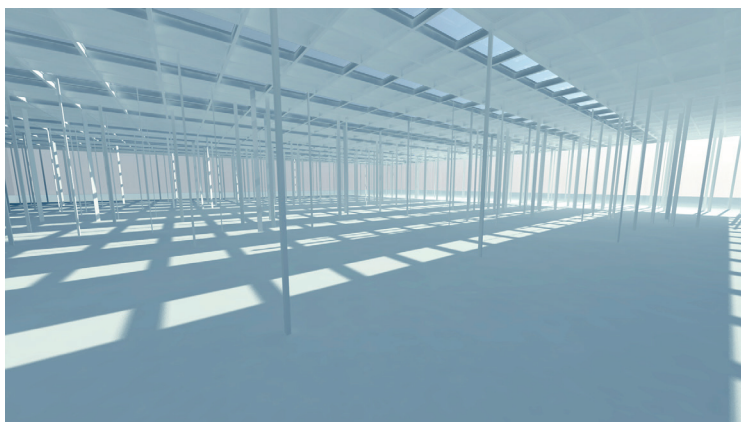
Cihla nemá schopnost odebrat další rozměry, hmota vždy vytváří trojrozměrnou hmotnou formu. Na rozdíl od betonu má své limity ve tvaru, ovšem zachovává si svoji původní formu. Otázka zní, jestli ještě mohou vzniknout nové prostory na základě progresivních cihelných konstrukcí.

Nové organické pojetí zaklenutých prostor tvořených cihlovým zdivem vytvořil v roce 1910 v Barceloně Antoni Gaudí v Casa Milà. S moderním pojetím cihlového zdiva experimentoval ve svém Brick Country House Mies van der Rohe, který jednotlivé stěny vkládal v půdorysu do mřížky tak, aby směr zdiva byl pro všechny zdi stejný. Tradiční zděné formy pro vytvoření nového prostoru naopak využil Carlos Mijares Bracho u sakrální stavby Christ Church v Mexico City (1990).

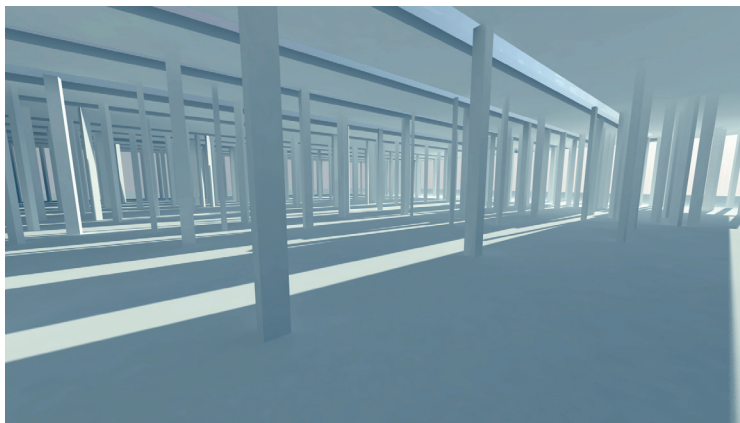
Použitý materiál a z něj vyplývající konstrukce jsou jedním z faktorů, který ovlivňuje architektonický prostor. V některých případech, kdy je konstrukce určující pro architektonický návrh, jej dokonce utváří. Proto lze v budoucnu očekávat nové architektonické styly založené na progresivních materiálech a z nich vyplývajících strukturách.



**Obr. 1.** Soustava Prostor-hmota-forma (Zdroj: vlastní tvorba)



**Obr. 2.** Kanagawa Institute Technology (KAIT) Workshop /Table – originální ocelové provedení stavby (Zdroj: vlastní tvorba)



**Obr. 3.** Kanagawa Institute Technology (KAIT) Workshop /Table – alternativní betonové provedení stavby (Zdroj: vlastní tvorba)

## **Prameny**

LAAN, Hans van der. Architectonic space: fifteen lessons on the disposition of the human habitat. Leiden: Brill, 1983. ISBN 9789004069435.

MACDONALD, Angus J. Structure and architecture. 2. vyd. Oxford: Architectural Press, 2001. ISBN 9780750647939.

MCLEAN, William, Pete SILVER a Peter EVANS. Structural engineering for architects. A handbook. London: Laurence King, 2014. ISBN 9781780670553.

WINDECK, Georg. Construction matters. ISBN 9781576877784.